

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Návrh odlitku vybrané součásti

Mould Design of Selected Part

Student:

Jiří Judas

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2009

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Judas**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh odlitku vybrané součásti**
Mould Design of Selected Part

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávajících metod technologie slévání
2. Specifikace technologických přídavků včetně přídavků na obrábění
3. Návrh modelu odlitku zadané součásti
4. Sestavení slévárenského postupového výkresu
5. Diskuze a hodnocení sestaveného návrhu odlitku

Seznam doporučené odborné literatury:

PÍŠEK, F., PLEŠINGER, A. a kol. Slévárství I. Obecná část. Praha: SNTL, 1974.
PÍŠEK, F., PLEŠINGER, A. a kol. Slévárství II. Speciální část. Praha: SNTL, 1975.
VETIŠKA, A. a kol. Teoretické základy slévárenské technologie. Praha: SNTL, 1974.
VETIŠKA, A. Výroba a konstrukce odlitků v otázkách a odpovědích. Praha: SNTL, 1981.
DOUBRAVSKÝ, M. aj. Technologie slévání, tváření a svařování. Brno: VUT v Brně, 1985, 246 s.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**


Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009





prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JUDAS, J. Návrh odlitku vybrané součásti. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, vedoucí Hrubý, J.

Bakalářská práce se zabývá slévárenstvím, jsou zde rozebrány stávající technologie slévání a zásady navrhování odlitků. Dále se práce zabývá návrhem odlitku s postupovým výkresem odlitku. V příloze jsou výkresy součásti a odlitku.

ANNOTATION OF THE BACHELOR'S THESIS

JUDAS, J. - Mould design of selected part, Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2009, head: Hrubý, J.

The objective of this Bachelor's Thesis was to describe today's founding technologies and fundamentals of designing a cast's. The practical part stands on the mould design of a selected part with its flow drawing. Drawings of the part and of its cast are located in the appendix.

OBSAH

Úvod	1
1. Charakteristika slévárenských forem	2
1.1 Lití do pískových forem	2
1.2 Výroba pískových forem	3
1.3 Model	3
1.4 Šablony	4
1.5 Jaderníky	4
1.6 Vtokové soustavy	4
2. Vtoková soustava	5
2.1 Vtoková jamka, nálevka	5
2.2 Vtokový kanál	6
2.3 Rozváděcí kanál, odstruskovač	7
2.4 Vtokové zářezy	8
3. Výroba pískových forem	9
3.1 Výroba pískových forem bezrámovým formováním	9
3.2 Výroba forem metodou chemicky tvrzených směsí (metoda CT)	9
3.3 Výroba skořepinových forem (metoda Croninga – metoda C)	9
4. Lití do kovových forem	11
4.1 Vysokotlaké lití	12
4.3 Nízkotlaké lití	12
4.4 Sklopné lití	13
4.5 Odstředivé lití	14
4.6 Vakuové lití	15
4.7 Kontinuální lití	15
4.8 Výroba odlitků ve zmrazených formách	16
5. Zásady navrhování odlitků	17
5.1 Základní konstrukční pravidla při navrhování odlitků	17
6. Návrh odlitku	23
6.1 Materiál odlitku	23
6.2 Formování	24
6.3 Tavení litiny	25
6.4 Výstupní kontrola odlitku	27
7. Závěr	28
8. Seznam použité literatury:	29

Úvod

Technologie jsou výrobní procesy, které se uplatňují při vytváření výrobku. Slovo technologie je řeckého původu a lze ho přeložit jako „věda“, resp. „nauka o praktické činnosti“. Jakou činností se tato věda zabývá je nutno ještě dále specifikovat. Ve strojírenství se tato technologie zabývá zákonitostmi strojírenských výrobních procesů a také se často označuje „strojírenská technologie“ a nebo zkráceně technologie.

Slévárenství je to jedna z netřískových technologií, výrobní proces, kdy se zhotovují – odlitky – litím roztaveného kovu, resp. slitiny kovů do dutiny slévárenské formy. Základní pracovní postup při odlévání spočívá v tom, že roztavený kov odlitý do slévárenské formy přijme tvar dutiny formy a současně v dutině tuhne. Tím je velmi snadno a jednoduše dosaženo tvaru požadovaného výrobku.

Inženýr se odvozuje od latinského slova ingenium, které znamená vynalézavost, důvtip, důmysl, nadání. Podobný význam má i španělské slovo Ingenioros a italské incigerius.

1. Charakteristika slévárenských forem [7]

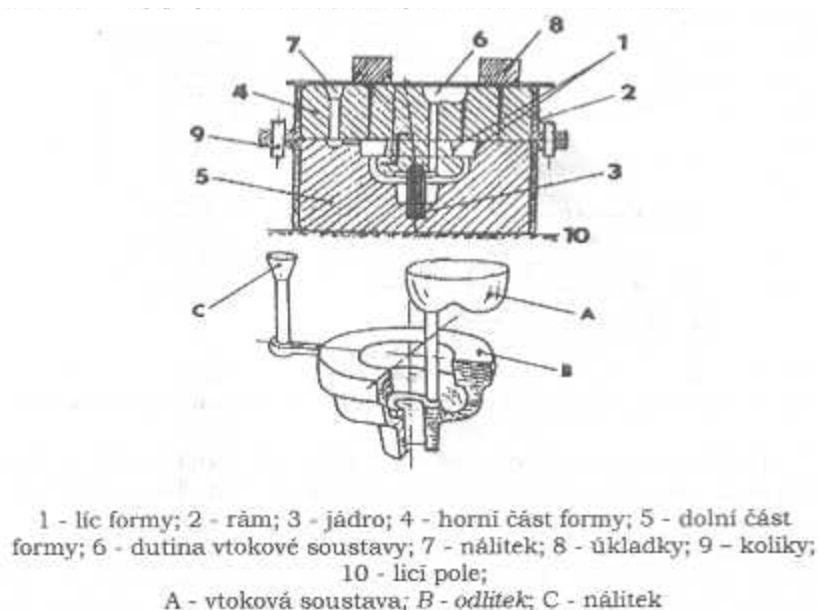
Slévárenská forma – je v podstatě pracovní předmět „nádoba“ vyrobená ze žáruvzdorného materiálu, jejíž dutina odpovídá tvarem – je negativem budoucího odlitku. Slévárenské formy dělíme z různých hledisek, např. podle trvanlivosti se dělí na formy:

- a) trvalé – formy kovové, vyrábí se z ocelí tříd 17, 19 nebo z litiny s lupínkovým grafitem. V těchto formách lze provést až tisíce násobný počet odlití
- b) polotrvalé – keramické, které jsou vyrobené ze speciálních keramických materiálů obléváním modelu v rámu. Tyto formy slouží pro více odlití
- c) netrvalé – pískové, jsou formy velmi často používané k odlévání litiny, slitin hliníku, atd. Jsou pouze na jedno použití. Pískové formy mohou být před odléváním:

- syrové (nevysušené)
- přisušené (vysušené pouze u pracovního povrchu – tzv. líce formy)
- vysušené (vysušené v celém objemu)

1.1 Lití do pískových forem

Písková slévárenská forma bývá nejčastěji půlená, skládající se z horní a dolní části. Vnější část a rozměry formy vymezují kovové slévárenské rámy, které jsou vyplněné formovacím materiálem (tzv. slévárenským pískem). Vzájemnou polohu rámu a tím i obou částí formy zabezpečují vodící kolíky. Uvnitř formy je pomocí modelu vytvořena dutina formy.



Obr. 1: Schéma řezu pískovou slévárenskou formou

Plocha dutiny každé slévárenské formy, která je po odlití ve styku s taveninou kovů, se nazývá líc formy. Dutina může obsahovat i jádro. Součástí každé formy je vtoková soustava. K uvolnění vznikajících plynů ve formě po nalití taveniny slouží výfukové kanály (průduchy). Schéma pískové formy můžeme vidět na **obr. 1**.

1.2 Výroba pískových forem

Provádí se v tzv. formovnách. V úpravně formovacího materiálu se připravuje příslušná formovací směs (ostřívo, pojivo, příměsi a voda v určitém poměru). Tato směs se dopravuje do formovny. Zde se plní formovací rámy formovací směsí a modelem, nebo rámy s formovací deskou. Plnění se může provádět sypáním, metáním, vstřelováním, atd. Pak následuje zhuštění směsi v rámu tak, aby formovací směs dobře kopírovala model v rámu. Od slévárenské formy vyžadujeme dobrou kompaktnost, pevnost v tlaku, prodyšnost, žáruvzdornost a po odlití i její rozpadavost. Zhuštění se provádí strojním (výjimečně ručním) způsobem, pomocí strojů, které směs v rámu setřesou a dolisují. Po vyjmutí modelu, nebo modelové desky z rámu získáváme nejčastěji polovinu slévárenské formy. Spojením dvou příslušných polovin formy získáme formu s její dutinou. Jádra se vyrábí příslušnou technologií v jadernících (formy pro výrobu jader). Tato jádra se dovážejí do formovny, po vyjmutí modelu se jádro vkládá do dutiny formy. V případě výroby složitých dutin forem se dutina vyrábí skládáním nepravých jader do slévárenského rámu.

Při formování je ještě nutno ve formě vyrobít vtokovou soustavu (tj. soustava kanálů sloužících k dopravě taveniny do dutiny formy) a výfuky, které odvádějí unikající plyny z formy. Někdy je nutné ještě ve formě vytvořit dutinu (dutiny) pro náletek, který funguje jako zásobárna taveniny a z něhož si tuhnoucí a smršťující odlitek doplňuje chybějící kov.

Pro výrobu dutiny pískových forem se používají různé pomůcky, které zahrnujeme pod pojmem tzv. modelové zařízení. K modelovému zařízení patří modely, šablony a jaderníky, modelové desky, dále všechny potřebné pomůcky vyrobené v modelárně, které slouží k výrobě formy.

Je třeba rozlišovat modelovou desku pro ruční a strojní formování. Modelová deska pro ruční formování bývá nejčastěji rovná dřevěná podložka, na kterou se v rámu usazuje model. Modelová deska pro strojní formování je jednoúčelová pomůcka. Tvoří ji deska, na kterou je připevněn model odlitku, model vtokové soustavy, model výfuků, atd. Technologie jsou popsány v kapitole 3.

1.3 Model

Model je základní pracovní pomůckou, která slouží k výrobě dutiny formy. Jeho tvar odpovídá budoucímu odlitku. Součástí modelu jsou i známky, které po zaformování modelu vytváří plochy ve formě, sloužící k uložení jádra. Modely jsou často dělené, jen zřídka nedělené. Vyrábí se ze dřeva, dnes to jsou již dřeva umělá, která nepodléhají roztažnosti a nabobtnávání.

Rozměr modelu je proti odlitku větší o tzv. míru smrštění. Hodnota smrštění závisí na použitém odlévaném materiálu. Model musí obsahovat také potřebné úkosy, které usnadňují vyjímání modelu z upěchované formy (plochy kolmé na dělicí rovinu mají úkos 1:50 až 1:100). Modely jsou opatřeny barevným nátěrem. Nátěr chrání model proti navlhání a současně podle barvy modelu lze usuzovat jaký typ slitiny se bude odlévat:

- červená – litina s lupínkovým grafitem
- bledě modrá – slitiny hliníku
- šedá – slitiny hořčíku

Zvláštní skupinu modelů tvoří modely netrvalé (voskové – vytavitelné, nebo z napěněného speciálního polystyrenu – spalitelné), které se musí vyrobit pro každou formu.

1.4 Šablony

Šablony jsou též pracovní pomůcky k výrobě dutin formy, mají tvar obrysu odlitku. Uplatňují se tam, kde má odlitek jednoduchý rotační tvar. Šablona je poměrně levná, ale výroba forem šablonováním je náročná a zdlouhavá. Dnes se šablony nejvíce uplatňují ve speciální slévárenské výrobě, tj. při výrobě forem pro odlévání zvonů.

1.5 Jaderníky

Jaderníky jsou kovové, nebo dřevěné formy určené k výrobě jádra. Jejich dutina se naplní jádrovou směsí (to jsou speciální směsi) a podle druhu směsi (směsi na bázi pryskyřic, vodního skla, sacharidů, atd.) dochází v důsledku pojivových procesů, kdy využíváme chemických reakcí k výrobě kompaktního jádra.

1.6 Vtokové soustavy

Každá slévárenská forma musí mít systém kanálů, který slouží k dopravě taveniny kovu do dutiny slévárenské formy. Pro pískové formy existují dva typy vtokových soustav:

- a) s licí jamkou – obsahuje svislý licí kůl, vodorovný kanál tzv. struskovák a zářez (nebo zářezy). Tato soustava se nejčastěji používá pro odlévání litin
- b) s nálevkou – obsahuje svislý a vodorovný kanál. Vodorovný kanál ústí do dutiny formy. Tato soustava se používá především k odlévání oceli na odlitky.

2. Vtoková soustava [6]

Vtoková soustava je soustavou kanálů, kterými je tekutý kov přiváděn do dutiny formy. Úkolem vtokové soustavy je zajištění klidného proudění kovu optimální rychlostí, bez nebezpečí rázů a poškozování formy (příp. jader), zabránění víření, rozstříku, oxidaci kovu a zajištění dostatečného tlaku k plnění formy. Dalším úkolem vtokové soustavy je odloučení a zachycení strusky a dalších nekovových nečistot z taveniny tak, aby nebyly zaneseny do odlitku.

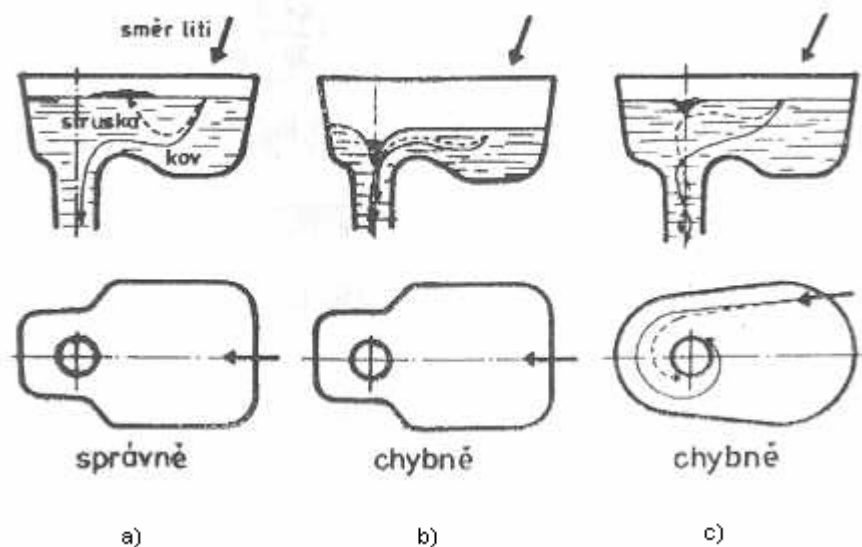
Vtoková soustava se skládá z několika částí, z nichž každá plní určitou funkci. Jedná se o vtokovou jamku, vtokový kanál, odstruskovač a zářezy. Typ vtokové soustavy je pak závislý na druhu odlévané slitiny a konstrukci odlitku.

2.1 Vtoková jamka, nálevka

Vtoková jamka se používá u vtokových soustav s rafinačním účinkem. Její základní funkce lze shrnout do následujících bodů:

- a) usměrnění a uklidnění proudu taveniny z lící pánve
- b) zásobník taveniny zajišťující plynulé odlévání
- c) zachycení nečistot (zejména strusky), které mohou přicházet z lící pánve spolu s taveninou

Má-li vtoková jamka plnit svoji rafinační funkci, je nezbytné, aby tavenina v ní obsahovala přiměřené výšky – viz **obr. 2a**. V opačném případě se nečistoty dostávají buď přímo s proudem taveniny, nebo prostřednictvím vertikálního víru ve výústění, dále do vtokového kanálu (**obr. 2b**). Také nesprávný směr proudu kovu při plnění vtokové jamky podporuje vznik vírů a turbulence, což je možno vidět na **obr. 2c**.



Obr. 2: Tvar a způsob plnění vtokových jamek

Velmi choulostivým okamžikem je začátek odlévání (tzv. „zalití“ formy), kdy hladiny kovu ve vtokové jamce nedosahuje požadované úrovně. Proto se u náročnějších odlitků čistota taveniny při zalití zajišťuje odléváním na zátku.

Kovová zátka vhodného tvaru, opatřená žárovzdorným nátěrem a dobře vysušená, se vkládá před odléváním do zaústění vtokového kanálu a vyjímá teprve po zaplnění vtokové jamky do potřebné výše.

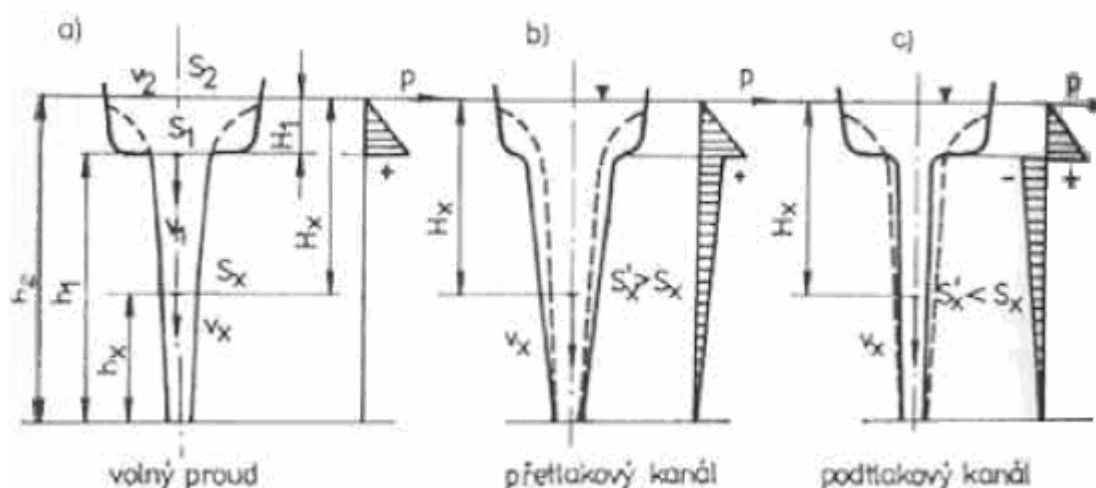
S ohledem na správnou funkci nesmí během lití dojít ve vtokové jamce k výraznějšímu poklesu hladiny (např. v důsledku nerovnoměrného lití). Z tohoto důvodu musí být vtoková jamka nejen dostatečně vysoká, ale také přiměřeně objemná. K vyprázdnění vtokové jamky nemá dojít ani v závěru odlévání. Zůstává proto částečně zaplněná i po ukončení odlévání a v tom ohledu snižuje, mnohdy dosti výrazně, využití tekutého kovu. Z tohoto důvodu se u menších odlitků často vtoková jamka nahrazuje vtokovou nálevkou.

Metalurgickou čistotu pak zajišťuje keramická vložka (tzv. cedítko), která se vkládá na dno nálevky. U vtokových soustav bez rafinačního účinku se používají vtokové nálevky (lepší využití kovu, menší pracnost). Jedná se v podstatě o rozšíření vtokového kanálu s tím, že tyto nálevky slouží pouze k usměrnění a uklidnění proudu taveniny z lící pánve.

2.2 Vtokový kanál

Vtokovým kanálem se dopravuje kov z vtokové jamky (nálevky) do odstruskovače, nebo rozváděcího kanálu. Pro výtok taveniny z vtokové jamky do volného prostoru (**obr. 3**) je možné použít Bernoulliho rovnici, pomocí níž zjistíme rychlost proudu.

Na rozdíl od pohybu v horizontálních kanálech má pohyb tekutin (a tedy i kovových tavenin) ve svislých kanálech svůj specifický rys, daný působením gravitačního pole. Jde o utváření tzv. volného proudu, jímž se v tomto případě rozumí proud taveniny ve volném prostoru, na který působí pouze zemská tíže.



Obr. 3: Proudění a tlak ve svislém vtokovém kanálu

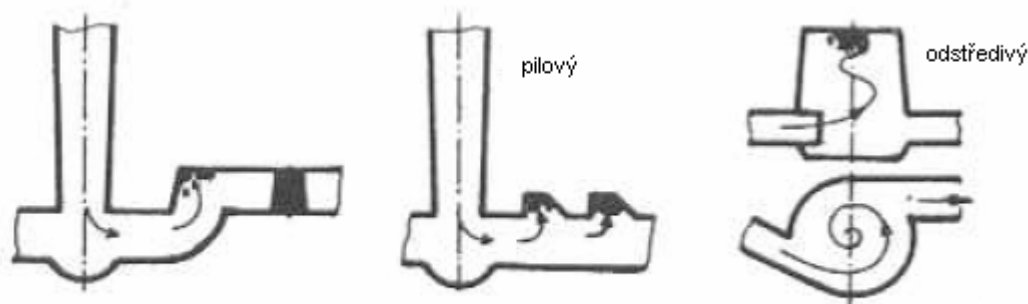
Jeho průřez je vzhledem k povrchovým silám v tavenině kruhový, neboť kruh je útvar s minimální hodnotou poměru obvod/plocha. Poněvadž rychlost volného proudu ve směru gravitačního působení narůstá, nezůstává tento průřez konstantní.

2.3 Rozváděcí kanál, odstruskovač

Funkce rozváděcího kanálu spočívá v horizontálním rozvedení taveniny ve vlastní formě. Jeho geometrie musí sledovat požadavek maximálního uklidnění proudu taveniny, vytékajícího z vtokového kanálu a rovněž tak požadavek minimálního ochlazení taveniny. Podobně jako ve vtokovém kanále, nemá ani zde vznikat podtlak, který vede k naplynění taveniny a vždy znamená zvýšené nebezpečí výskytu bublin v odlitcích. Tímto požadavkem je do jisté míry vymezena velikost jeho průřezu. Naproti tomu tvar průřezu může být v podstatě libovolný. V případě, že je rozváděcí kanál vytvořen šamotovými tvarovkami, je jeho průřez kruhový.

U odstruskovače se k výše uvedeným požadavkům připojuje požadavek odstranění nečistot, které s proudem taveniny pronikly do odstruskovače přes vtokovou jamku vtokovým kanálem. Toto hledisko již omezuje i tvar průřezu odstruskovače. Výhodným a proto také nejrozšířenějším tvarem je lichoběžník o přiměřené štíhlosti.

S ohledem na menší měrnou hmotnost uvažovaných nečistot bude k jejich hromadění docházet v horní části odstruskovače. Protože rychlost stoupání nečistot je pro drobné částice velmi malá, upravuje se někdy konstrukce odstruskovače tak, aby se možnost oddělení nečistot posílila. Příklady takových úprav odstruskovače jsou na **obr. 4**.



Obr. 4: Konstrukční úpravy odstruskovače

Velmi účinným prostředkem pro zvýšení vnitřní čistoty odlitků jsou keramické filtry, které se vkládají do vtokové soustavy, pokud možno co nejbližše dutiny formy. Vedle filtrů plochých se používají i filtry objemové (lisované, protlačované a pěnové), u kterých se uplatňuje filtrace cezením (tvořením filtračního koláče) a filtrace hloubková (adhezí vměstků v celém objemu filtru). Filtry jsou úspěšně používány jako pro neželezné kovy (slitiny hliníku a mědi), tak pro litiny a oceli.

2.4 Vtokové zářezy

Vtokové zářezy jsou poslední částí vtokové soustavy a zpravidla bývají též místem nejužším. Na jejich tvaru, velikosti, počtu a zejména na jejich rozmístění, závisí dokonalé zaplnění vlastní dutiny formy tekutým kovem. Při navrhování vtokových zářezů je proto nutné vzít v úvahu následující hlediska:

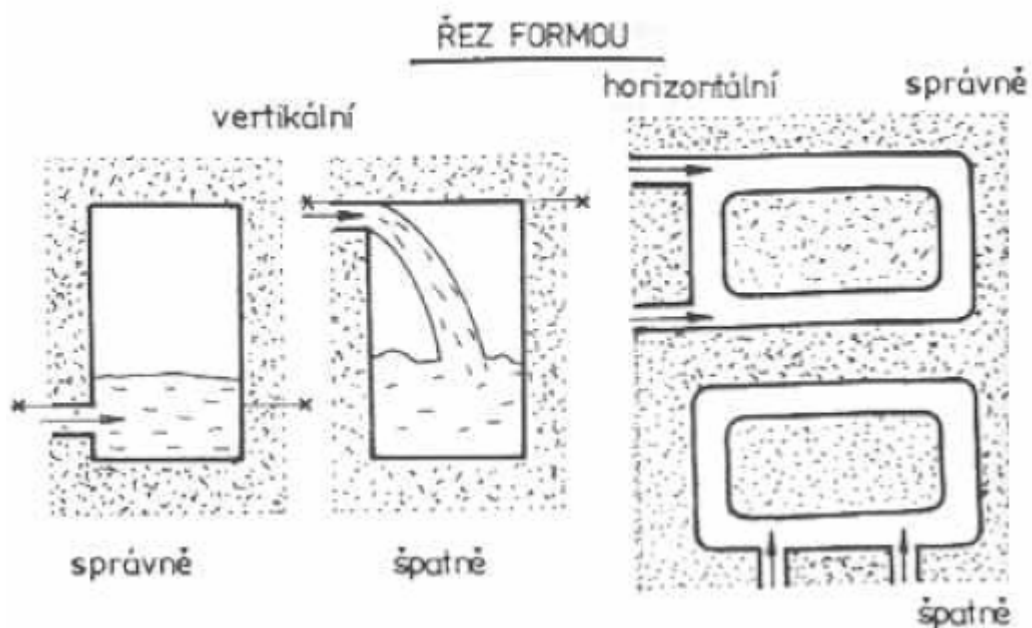
- a) způsob plnění dutiny formy
- b) míru ochlazení taveniny při plnění formy
- c) průběh teplotního pole odlitku a formy

Pokud se týká plnění vlastní dutiny formy je žádoucí, aby bylo klidné, bez rozstříku taveniny a vzniku vírů. Proud kovu by rovněž neměl působit erozivně na stěny formy či jader. Z těchto důvodů je nutné situovat vtokové zářezy tak, aby se pokud možno vyloučil volný pád taveniny v dutině formy a aby se také zamezilo kolmým nárazům proudu taveniny na stěnu formy, nebo jádra. Názorně ukazují správné a nesprávné rozmístění vtokových zářezů (tzv. „vtoků“) z tohoto hlediska příklady na **obr. 5**.

Rozmístění vtokových zářezů ovlivňuje navíc i teplotní pole odlitku, které má pro jeho vnitřní jakost (a tím i výsledné mechanické vlastnosti) značný význam.

Počet vtokových zářezů pak přímo ovlivňuje délku dráhy, kterou musí tavenina při zaplňování dutiny formy urazit a tím i míru jeho ochlazení. Výraznější pokles teploty proudící taveniny může přivodit značné výrobní potíže zejména při odlévání tenkostěnných odlitků.

Tvar vtokových zářezů lze charakterizovat jednak jejich příčným průřezem, jednak průřezem podélným.



Obr. 5: Rozmístění vtokových zářezů

3. Výroba pískových forem [7]

3.1 Výroba pískových forem bezrámovým formováním

Vedle klasických způsobů výroby „pískových forem“ existuje netradiční metoda, tzv. bezrámové formování, kterou se vyrábí netrvalé pískové formy. Tyto formy mají masivní tloušťku stěny a svým vzhledem vypadají jako „buchty“. Nemají při odlévání kovový rám. Vyrábí se pomocí speciálních výkonných automatických strojů (DISAMATIC a UNIVERSAL), které mají buď oboustrannou modelovou desku, nebo dvě formovací desky. Na těchto strojích lze vyrobit až 300 forem za hodinu. Rozlišujeme dva způsoby formování, resp. dva druhy forem, podle směru dělicí roviny. Se svislou dělicí rovinou a s vodorovnou dělicí rovinou. Výroba spočívá ve vstřelování formovací směsi do komory, jejíž dvě protilehlé stěny tvoří modelové desky. Jedna je sklápěcí a tvoří jednu levou část formy, druhá je lisovací a vytváří pravou část formy.

K vytvoření dutiny formy dojde spojením předchozí pravé části formy s levou částí následné formy. Po vysunutí obou typů formy ze stroje jsou válečkovým dopravníkem dopravovány do míst, kde jsou automaticky odlévány, chlazeny a vytloukány. Uplatnění forem vyrobených bezrámovým způsobem se používá při výrobě drobných litinových odlitků hromadné výroby, které nevyžadují téměř žádné opracování.

3.2 Výroba forem metodou chemicky tvrzených směsí (metoda CT)

Metoda výroby chemicky tvrzených forem je založena na směsi křemenného ostřiva a vodního skla. Tuto metodu vynalezl český slévárenský chemik Dr. Lev Petržela v 50. letech minulého století. Tato směs se nazývá CT. Při výrobě formy se směs mírně upěchuje ve formovacím rámu a nechá se formou proudit oxid uhličitý, který způsobuje okamžité ztvrdnutí formy.

Pracovní povrch formy vyrobené CT se často upravuje pyrogelovým nátěrem, aby se zamezilo povrchové vadě odlitků tzv. zapékání (tavenina proniká mezi zrna ostřiva). Protože princip ztužování je velmi jednoduchý a ekologicky vyhovující, je tato metoda neustále velmi perspektivní pro výrobu slévárenských forem. Dnes se hledají vhodné příměsi, které vedou k lepší rozpadavosti formy při vytloukání odlitků.

3.3 Výroba skořepinových forem (metoda Croninga – metoda C)

Charakteristickým rysem této metody je výroba dutin v poměrně tenkých skořepinách. Principem metody je nasypání směsi ostřiva a pryskyřice na kovovou modelovou desku, která je zahřátá na teplotu 200° až 250°C. Pracovní povrch modelové desky je ošetřen separačním přípravkem (silikonovým olejem). Směs se ponechá na modelové desce 8 až 20 sekund, podle požadované tloušťky skořepiny. Během této doby se pryskyřice do určité vrstvy na modelové desce nataví a vytvoří plastickou vrstvičku 8 až 12 mm. Zbylá nenatavená směs se odstraní otočením modelové desky o 180°.

Pak následuje vytvrzení skořepiny při teplotě 300 až 450°C po dobu 30 až 180 sekund. To se provádí tak, že modelová deska se skořepinou se vkládá do pece. Po vytvrzení se skořepina vyjímá. Analogicky se vyrobí druhá polovina formy. Pak následuje případné vložení jader a sestavení obou půlek formy. Protože forma není samonosná, zasypává se před odlitím do písku.

Pro přípravu směsi se používá jemné kulaté křemenné ostřívo (střední velikost zrna je 0,06 až 0,15 mm). Pro odlévání ocelí na odlitky je křemenné ostřívo nevhodné a používá se jemné kulaté ostřívo zirkoniové, popř. olivíny. Pojivem je novolaková pryskyřice, která je teplem tavitelná. Pro vytvrzení této pryskyřice je nutno přidat ještě hexametyléntetramin (zvaný urotropin $C_6H_{12}N_4$) ve formě prášku. To je látka, která se teplem rozkládá a způsobuje, že lze novolakovou pryskyřici teplem vytvrdit.

Pro výrobu forem se používají dva typy formovací směsi. Suchá směs (zrníčka ostřív a zrníčka pryskyřice) a obalená směs (zrníčka ostřív jsou potažena pryskyřicí).

Do těchto forem lze odlévat všechny typy slévarenských slitin do hmotnosti cca 50 kg. Proti odlitkům z pískových forem mají odlitky odlévané v těchto formách velmi dobrou drsnost povrchu i u členitých tvarů. Nevzniká brzděné smršťování odlitků, neboť se skořepina v průběhu tuhnutí odlitku porušuje a odlitky nemají vnitřní pnutí. Do teploty kolem 450°C vykazují skořepiny pevnost v tlaku až 4,5 MPa. Lze předpokládat, že tyto formy nezpůsobují vady odlitků (např. zadrobeniny). Mají poměrně velkou prodyšnost, ale nízkou tepelnou vodivost, což umožňuje menší rozměry vtokové soustavy, nálitků i nižší teploty lití cca o 30°C proti lití do betonitových forem. Jejich výhodou je malá spotřeba formovací směsi, dobrá skladovatelnost i ve vlhčím prostředí, nejsou vodou nasákavé (hygroskopické). Větší přesnost a hladkost povrchu odlitků. Nevýhody této metody jsou: nákladné vyhřívání modelové desky; pryskyřice použité při zahřívání uvolňují škodlivé zplodiny. Použití jen pro velkosériovou výrobu. Uplatnění je hlavně při výrobě válců vzduchem chlazených motorů.

4. Lití do kovových forem [6]

Kovové formy – kokily jsou formy trvalé, protože do jedné formy můžeme opakovaně odlévat i několik desítek tisíc odlitků. Životnost závisí na druhu odlévané slitiny a materiálu kokily. Například při lití hořčíkových odlitků malé hmotnosti (několik dkg) do ocelových forem se dosahuje životnosti až kolem 750 000 odlitků, naopak při lití litinových odlitků hmotnosti přes 1 tunu do litinových kokil je životnost pouhých 5000 odlitků.

Na životnosti kokily má vliv i tvar odlitku, tloušťka jeho stěny, způsob výroby kokily a další faktory.

Pro kokilu je nutno především volit materiál s malým koeficientem tepelné roztažnosti. Tím jsou vytvořeny předpoklady pro vznik nižších vnitřních napětí v kokile a tedy dosažení vyšší životnosti. Nejčastěji používaným materiálem je šedá litina. Kokily se vyrábějí buď třískovým obráběním, nebo litím.

Důležitým faktorem při konstrukci kovových forem je stanovení tloušťky kokily. Ta závisí na tloušťce stěny odlitku, jeho materiálu a způsobu chlazení kovové formy. Při konstrukci kovových forem je rovněž důležitý způsob provedení známek jader. Používána jsou jádra kovová, skořepinová, nebo s jílovými pojivy sušená i syrová.

Výhodou výroby odlitků v kovových formách proti výrobě v netrvalých pískových formách je především vyšší produktivita práce ve slévárně, vyšší využití vsázky (zejména snížením přídavek na opracování), zvýšená tvarová a rozměrová přesnost odlitků a zlepšení hygienických podmínek slévárenského provozu. Zásadní úspora pracnosti spočívá ve skutečnosti, že odpadá výroba forem, včetně úpravy a dopravy formovacích směsí.

Z hlediska jakosti odlitku i životnosti kokily je důležitá její provozní teplota. Při nízké teplotě kokily hrozí nebezpečí nezaběhnutí odlitku, případně vznik trhlin a prasklin u tvarově složitých odlitků. Naproti tomu příliš vysoká teplota kokily vede k jejímu dalšímu znehodnocení. Optimální provozní teplota závisí na druhu odlévaného materiálu. Při odlévání hliníkových slitin má být 150° až 200° C, pro šedou litinu 200° až 270° C. Před prvním odléváním je nutno kokilu předeheat, vzhledem k jejímu dalšímu ohřátí přestupem tepla z tuhneícího odlitku je jí nutno během dalších pracovních cyklů chladit.

Technologický postup výroby odlitků v kovové formě se skládá z následujících operací:

- příprava kokily k odlévání, tj. odstranění poškozeného nátěru, nanesení nového nátěru, předeheev nebo ochlazení kokily
- založení jader, kovových nebo pískových
- složení kokily
- odlití kovu z pánve, nebo dávkovače
- vyjmutí odlitku z kokily a její ochlazení na potřebnou teplotu

Použitelnost kokilového lití je velmi široká. Na výběr odlitků má vliv především materiál, z něhož se má odlévat. Dalším faktorem je sériovost odlitků, metoda se uplatňuje zvláště u vyšších sérií.

Tvar odlitku má vliv na výběr především se zřetelem na použití jader, obtížnost výroby formy, tvar dělicí roviny a rovnoměrnost tloušťky stěn. Kokilové lití se nejvíce používá pro výrobu odlitků v leteckém a automobilovém průmyslu, při výrobě koster elektromotorů apod.

4.1 Vysokotlaké lití

U tohoto způsobu používáme kovové formy chlazené vodou, s kovovými jádry. Tekutý kov se vtlačuje pomocí pístu odlévacího stroje přes vtokovou soustavu do dutiny formy. Tlak pístu je vyvozen mechanicky, nebo hydraulicky a jeho velikost se pohybuje mezi 2 až 50 MPa. V praxi je tento způsob označován jako lití pod tlakem. Kov za působení vysokého tlaku ve formě tuhne a po vychladnutí na určitou teplotu se odlitek z formy vyjme.

Vysokotlakým litím se vyrábějí převážně dekorativní a nízko i středně namáhané součásti z neželezných slitin. Více se odlévají slitiny hliníku, olova, zinku, hořčíku a mědi. Každá z těchto slitin má své přednosti a nevýhody, které se odrážejí v konstrukci formy i odlitku pro tlakové lití.

Formy pro vysokotlaké lití jsou namáhány vysokými teplotami, změnami teplot (cyklické tepelné namáhání) a erozivním účinkem taveniny. Střídavé tepelné i mechanické namáhání vyvolává vznik trhlin na povrchu formy. Z provozního hlediska je proto důležitá životnost formy, tj. počet cyklů do jejího vyřazení. Pevná i pohyblivá část formy může být z jednoho kusu, nebo vložkovaná, je možno používat i formu s jádry. Chlazení forem zabraňuje přehřátí a provádí se různými chladicími systémy. Nejčastěji se používá chlazení cirkulující vodou ve vložkách formy.

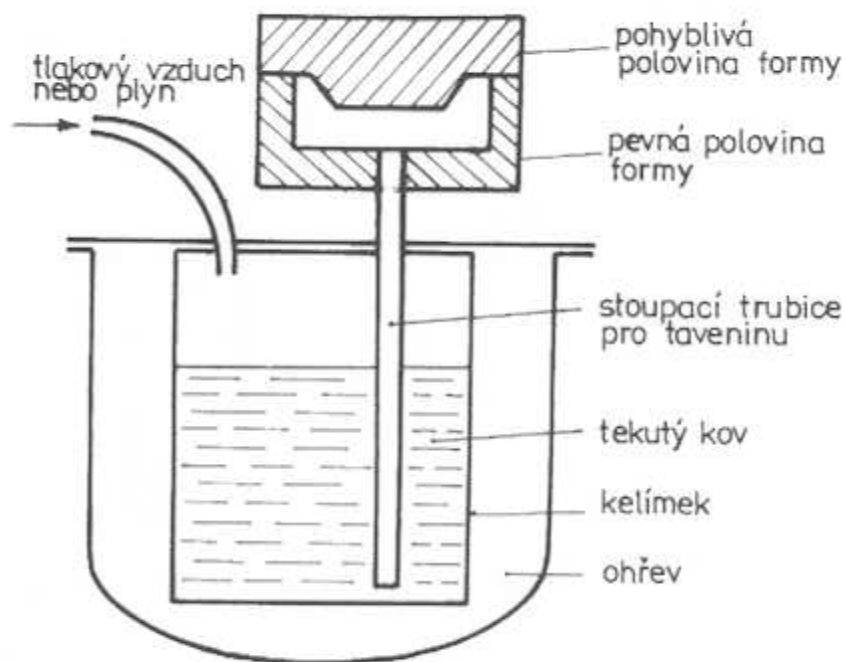
Vysokotlaké lití se provádí na speciálních strojích, které se dělí podle konstrukčního uspořádání do dvou skupin. Buď je tavící kelímek součástí litího stroje a roztavený kov se vtlačuje do formy pístovým mechanismem, nebo se kov taví mimo stroj a jeho potřebné množství pro zhotovení jednoho odlitku se před odlitím nalévá do tlakové komory. První způsob se nazývá litím na trojích s teplou (vytápěnou) komorou, druhý litím na strojích se studenou komorou.

4.3 Nízkotlaké lití

Podstata nízkotlakého lití spočívá v postupném plnění dutiny formy kovem, působením tlaku vzduchu, nebo jiného plynu na hladinu kovu v tavícím kelímku, při přetlaku 0,03 až 0,06 MPa. Kov stoupá do formy plnicí trubicí zespodu, plnění je klidné, bez víření a turbulence. Jeho rychlost je možno ovládat změnou tlaku plynu. Po zaplnění dutiny formy kovem tlak roste a při jeho maximální hodnotě dochází k tuhnutí odlitku.

Plnění kovem je klidné, čímž se dosahuje vysoké kvality odlitků. Odběr taveniny z větší hloubky pod hladinou v kelímku snižuje nebezpečí vnikání strusky a jiných nečistot do formy. V plnicí trubici zůstává kov tekutý a plní funkci nálitku.

Využití kovu je vysoké, plnicí trubka vedle funkce nálitku zastává i funkci vtokové soustavy, tavenina v ní netuhne a vypouští se zpět do kelímku. Princip nízkotlakého lití je na **obr. 6**.

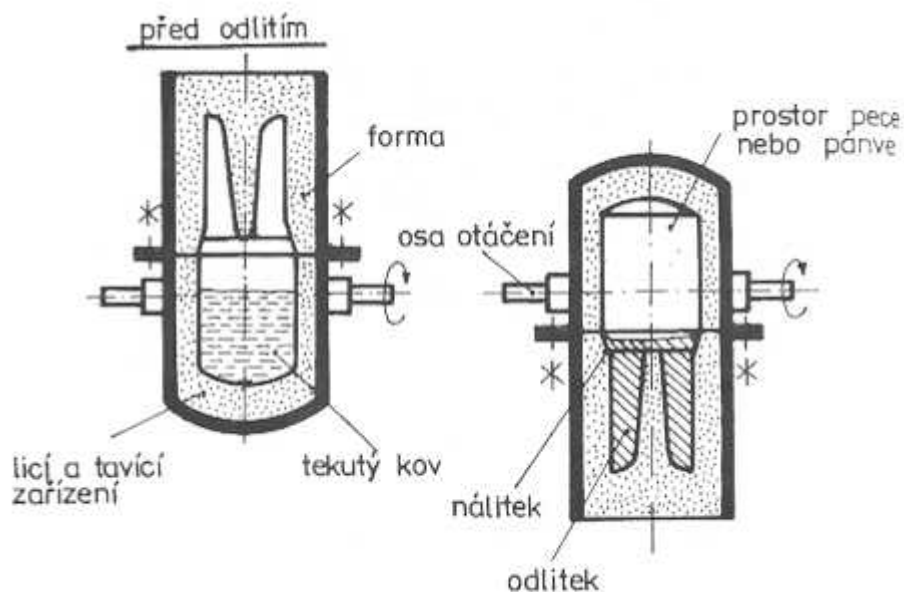


Obr. 6: Zařízení pro nízkotlaké lití

Nízkotlaké lití se používá především pro odlévání slitin nízkotavitelných kovů. Formy jsou většinou kovové, vzhledem k jejich pevnosti a schopnosti ochlazování taveniny. Rozšíření vyráběného sortimentu nízkotlakým litím si vynutilo používání forem grafitových, pískových, sádrových, keramických a skořepinových, vyrobených metodou trvalého modelu.

4.4 Sklopné lití

Podstata metody spočívá v tom, že formovací rám s formou a zařízení, ve kterém je tekutý kov, tvoří jeden celek. Odlitek se odlévá otočením celého zařízení o 180° . Vtoková soustava obvykle odpadá, odlévá se přímo do nálitku (**obr. 7**). V praxi se sklopné lití aplikuje ve dvou modifikacích: buď při použití jednoúčelové tavící pece, nebo pomocí sklopného přípravku (pánve). V prvním případě se používá obloukové pece s nepřímým ohřevem mezi dvěma grafitovými elektrodami. Ve druhém případě je tavící prostor sklopné pece nahrazen slévárenskou pánví. Zařízení s pecí se používá do hmotnosti odlitku 80 kg, s pánví až do 150 kg.



Obr. 7: Princip sklopného lití

4.5 Odstředivé lití

Při odstředivém lití jsou odlitky vyráběny naléváním tekutého kovu do rotující formy. Působení odstředivé síly má vliv na povrchovou kvalitu, strukturu i mechanické vlastnosti odlitku. Odstředivou silou je dosaženo těsného kontaktu mezi kovem a formou. Plyny, struska a nečistoty jsou vlivem nižší měrné hmotnosti (vzhledem ke kovu) vytlačovány ke středu rotující formy a zůstávají na vnitřních plochách odlitku. Vlivem tuhnutí od stěny formy působí odstředivá síla na zaplnění mezidendrických prostorů tekutým kovem, čímž se snižuje výskyt vnitřních vad a zvyšuje měrná hmotnost odlitku. Rotace formy musí pokračovat až do úplného ztuhnutí kovu v celém průřezu odlitku.

Odstředivé lití umožňuje nejen výrobu odlitků vyšší vnitřní jakosti proti odlévání gravitačnímu, ale má i další výhody :

- zvýšené využití kovu, odpadají nálitky, často i celá vtoková soustava
- snížení nákladů na mechanické opracování a povrchovou úpravu, zvýšená přesnost odlitků
- duté odlitky se odlévají bez jádra, odpadá jeho formování
- úspora formovacích směsí, možnost odlévat odlitky z vrstev několika různých slitin (sdružené lití)

4.6 Vakuové lití

Odlévání složitých odlitek metodou přesného lití ve vakuu dosáhlo značného rozšíření. Převážnou část tvoří odlitky ze žárovevných slitin niklu, legovaných hliníkem a titanem u nichž je tavení a lití ve vakuu nezbytností a odlitky ze slitin na bázi železa a kobaltu. Jako tavící agregáty jsou používány vakuové indukční pece. Tavení a lití v těchto pecích má řadu výhod. Ve vakuu se roztavený kov silně odplyní, proběhne dokonalá desoxidace a odstraní se převážná část nekovových vměstků. Jediným nedostatkem je kontakt taveniny se žárovzdorným kelímkem, což může snížit rafinační efekt tavby ve vakuu a vést k určitému znečištění roztaveného kovu žáruvzdorninou kelímku.

Pro tavení a lití ve vakuu se v zásadě používá dvou typů indukčních pecí:

- Vakuové indukční pece hutní, sloužící pro odlévání ingotů k dalšímu zpracování tvářením, nebo ingotů které jsou vsázkovým materiálem pro přetavení ve vakuových pecích slévárenských indukčních, obloukových, nebo elektronových.
- Vakuové indukční pece slévárenské, sloužící pro odlévání odlitek metodou přesného lití ve vakuu. Z technologického hlediska se vakuové pece dělí podle způsobu práce na pece pracující periodicky a nepřetržitě.

4.7 Kontinuální lití

Kontinuální lití je proces, při kterém se odlitek tvoří průběžně (plynule) z tekutého kovu, přičemž jeho průřez má jednoduchý, nebo profilový tvar, event. periodicky se opakující příčný průřez s velkou délkou. Odlitky mají přesné rozměry, čistý povrch, poměrně stejnou tvrdost po průřezu a nemají vnitřní defekty. Kontinuálním litím se vyrábějí nejčastěji profily pro různé součástky v leteckém a automobilovém průmyslu, vodící tyče.

V poslední době se kontinuálním litím odlévá i tvárná litina. Na rozdíl od periodického lití je kontilití rovněž velmi produktivní s plynulou výrobou a hlavně ekonomické. U klasické výroby profilů válcováním je nutno dlít ingot, znovu jej ohřát a pak tvářet (válcovat) na požadované rozměry.

Všechny modifikace kontinuálního lití lze v podstatě rozdělit do čtyř skupin:

- odlévání mezi otáčejícími se válci
- odlévání do krystalizátoru
- vytahování přímo z taveniny
- odlévání vícevrstevných polotovarů

4.8 Výroba odlitků ve zmrazených formách

Neustálý tlak na snižování nákladů při výrobě slévárenských forem přinutil odborníky k navržení a ověření nových metod, ke kterým se řadí výroba zmrazených forem a jader. Praktická aplikace přináší snížení energetické náročnosti při přípravě a pěstování formovacích směsí, odpadá sušení forem a jader, příprava a použití ochranných nátěrů, čištění odlitků.

Zmrazené formy našly uplatnění v polovině 70.let v anglické slévárně odlitků z LKG, slitin hliníku a oceli do hmotnosti 150 kg. Přesnosti hygienické a ekologické řadí výrobu zmrazených forem do oblasti směsí III. generace, kde se k pojení využívá fyzikálních jevů (výroba forem v magnetickém poli, ve vakuu).

V České republice byl první zmrazovací tunel použit ve slévárně Tatra Kopřivnice v r. 1985 pro postupné zmrazování forem. Zmrazovací tunel obsahoval tři zóny – vstupní, předzmrazovací a zmrazovací. Zmrazování forem bylo prováděno sprchováním pomocí kapalného dusíku z mobilního zásobníku. Doba zmrazování závisí na velikosti formy, pro odlitek 100 kg, je doba zmrazování 60 až 90 (s).

Technologie výroby zmrazených forem má tyto přednosti :

- a) jednoduchou skladbu formovací směsi – obsahuje ostřívo a vodu. Zmrazujeme-li směs až po doformování (po vyjmutí modelu) musí mít min. vazkost (pevnost za syrova) 3%, tu získáme přísadou malého množství bentonitu
- b) směs neobsahuje obvyklé pojivo – led má jen dočasný pojivový účinek, ostřívo není znečištěno a po jeho použití může být opět zařazeno do výrobního oběhu. To umožňuje použití i drahých nekřemenných ostřiv (chromit, zirkon, korund, atd.)
- c) zmrazené formy vykazují vysokou pevnost – je srovnatelná s pevností samotvrdnoucích směsí a vodním sklem. Při použití nekřemenných ostřiv je u těchto forem pevnost v tlaku 20 až 30 MPa. U těchto forem s křemenným ostřivem je pevnost nižší 1 až 2 MPa. Formy s vyšším obsahem vody nad 6% vykazují po zmrznutí vysokou prodyšnost, vyšší než běžné (nezmrazené) formy s betonitovým pojivem
- d) ve zmrazených formách vznikají – při odlévání jiné poměry pro vznik kondenzační zóny
- e) zmrazené formy mají nižší odolnost proti erozi taveniny – vyšší odolnost lze zajistit použitím drobnějších zrn ostřiva, malým přídavkem betonitu. Také je menší odolnost proti sálavému teplu taveniny. Tyto vlastnosti se zvyšují přídavkem jílu
- f) zmrazené formy vykazují snadnou rozpadavost – obzvlášť když se ve formě ustaví nepatrně kladné teploty
- g) odlitky ze zmrazených forem vykazují dobrou drsnost povrchu – hodnoty pro litinové odlitky jsou cca $Ra = 16 \cdot 10^{-6}$ (m) a pro odlitky ze slitin hliníku $Ra = 6,3 \cdot 10^{-6}$ (m)

5. Zásady navrhování odlitků [7]

Při navrhování odlitků musí konstruktér sledovat nejen funkční hledisko odlitku, ale také je třeba respektovat způsob jejich výroby – technologické hledisko – tzv. technologičnost konstrukce. S tím také souvisí ustavení odlitku ve formě, poloha dělicí roviny, velikosti úkosů, zabudování vtokové soustavy, popř. nálitků k odlitku, atd. To souvisí s jednoduchostí výroby i s nízkými ekonomickými náklady.

Dalším hlediskem při navrhování jsou též mechanické vlastnosti materiálu odlitku. Tak např. litiny s lupínkovým grafitem (dále LLG) vykazují rozdílné mechanické vlastnosti v tlaku a v tahu. To je způsobeno heterogenní strukturou litiny (přítomností lupínků grafitu). Tlakovým namáháním dochází k nerovnoměrnému rozdělení napětí tahových a tlakových vláken a tím se posouvá neutrální osa směrem k tlakovým vláknům. To má své praktické důsledky při konstrukci litinových profilů namáhaných i na ohyb.

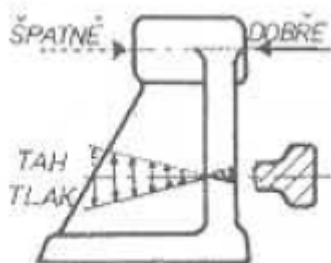
Aby se uvedené rozdíly vyrovnaly, navrhují se tvary odlitků v oblasti tlakových vláken užší, než v oblasti vláken tažných. Tyto okolnosti mají také vliv na to, že litina snese cca 3x větší namáhání v tlaku, než v tahu. Z toho vyplývá, že litinové odlitky by měly být konstruovány tak, aby byly namáhány především na tlak. Litinové profily namáhané na ohyb se konstrukčně řeší tak, aby napětí v tahu bylo v silnějším profilu. Snažíme se, aby výstužná žebra nebyla umístěna v oblasti maximálního namáhání v tahu, ale byla namáhána na tlak.

5.1 Základní konstrukční pravidla při navrhování odlitků

- 1) Odlitek musí mít stejnou tloušťku stěn (nebo průměr musí být maximálně 1:3, to platí především pro odlitky z litiny). Rovnoměrná tloušťka stěn je předpokladem pro zamezení tepelných uzlů, které tuhnou jako poslední a objevují se v nich staženiny.
- 2) Při určování minimální tloušťky stěn se vychází z materiálu odlitku, jeho rozměrů a hmotnosti, způsobu odlévání a mechanického namáhání (odlitky z LLG namáhat tlakem).
- 3) Odlitky mají mít velké rádiusy a nesmí mít ostré hrany a přechody stěn musí mít odpovídající zaoblení.
- 4) Tloušťky stěn se mají zvětšovat směrem k nálitku a při navrhování odlitku se musíme vyhnout konstrukci, kde by docházelo k nahromadění velké hmoty, neboť v těchto místech se mohou snadno vytvořit dutiny.
- 5) V jednom místě se má napojovat co nejméně stěn, je třeba se vyhnout křížícím se stěnám. Výhodné je také provést odlehčení některých míst návrhem díry, i když by to znamenalo složitější formování s jádry.
- 6) Odlitek je třeba navrhnout tak, aby vnitřní pnutí bylo co nejmenší a nezpůsobovalo vznik trhlin. Proto např. u odlévaných kol mají význam ramena mírně zakřivená, kterých se vždy volí lichý počet.
- 7) Odlitek má být navržen tak, aby se model dal snadno vyjmout z formy. Stěny ve směru vyjímání musí být opatřeny úkosy.

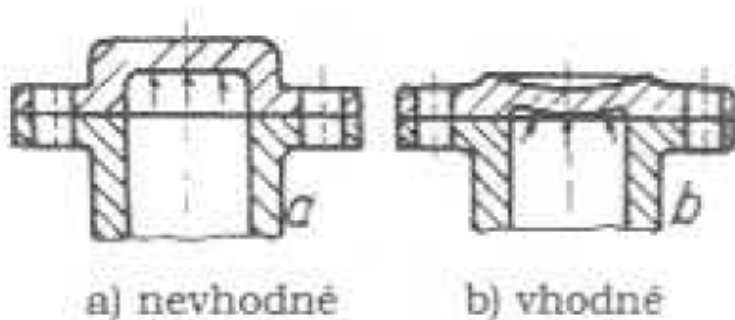
- 8) Pokud to není výhradně nutné, nemají být na odlitku výstupky a osazení, protože zhoršují smršťování odlitků a zvyšují nebezpečí vzniku trhlin vlivem místního nahromadění hmoty.
- 9) Odlitky z grafických litin by měly být konstruovány tak, aby byly namáhány tlakem.
- 10) Mají-li se odlitky obrábět, musí být plochy určené k obrábění vhodně umístěny, z hlediska přístupnosti a upínání odlitku do obráběcího stroje.

Na následujících obrázcích jsou respektovány výše uvedené zásady pro vhodné (popř. nevhodné) navrhování odlitků. Např. namáhání litinové konzoly, viz **obr. 8**, je nutno volit s ohledem na namáhání tlakem. Pak je správně namáhání zprava (šipka „dobře“), kdy na levé straně je žebro konzoly zcela správně namáháno tlakem. Obrátíme-li smysl namáhání (čárkovaná šipka zleva „špatně“), pak žebro konzoly je namáháno na tah, což je pro litinový díl nevhodné.



Obr. 8: Schéma správného namáhání litinové konzoly

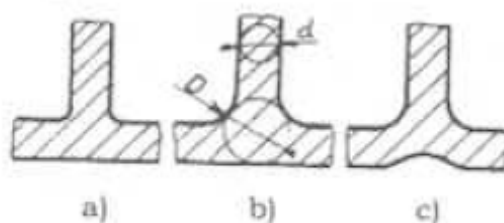
Také je nutné namáhání litiny na tlak uplatnit při konstrukci litinového víka k tlakové nádobě, viz **obr. 9**. konstrukční provedení nižšího víka je výhodnější i z hlediska namáhání šroubů.



Obr. 9: Schéma připojení litinového víka k tlakové nádobě

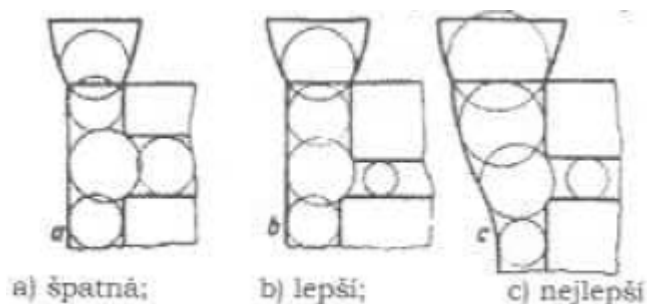
Na **obr. 10** je ukázka připojení pravoúhlého žebra ke stěně s ohledem na nebezpečí vzniku tepelného uzlu. Posouzení se provádí tzv. metodou vepsaných koulí. Průměry koulí vepsané do průřezu stěny odlitku mají být stejné, nebo se musí zvětšovat směrem ke vtoku nebo k nálitku. Vlevo je připojení stěny s nedostatečným zaoblením.

Provedeme-li velké zaoblení (uprostřed), vzniká velký průměr vepsané koule, to signalizuje vznik nepříznivého tzv. tepelného uzlu (místa tepelných uzlů tuhne nejdéle a je nebezpečí, že v těchto místech vzniknou vady – řediny). Konstrukční probrání vodorovné stěny (obr. vpravo) odstraní nebezpečí vzniku tepelného uzlu.



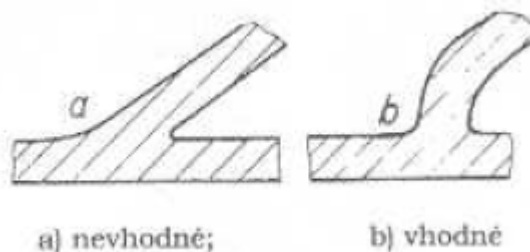
Obr. 10: Schéma připojení pravoúhlého žebra k odlitku

Na **obr. 11** je ukázka jak je možno konstruovat odlitek válcové nádoby s pravoúhlou stěnou, konstrukce vpravo (c) je vhodná a odpovídá metodě vepsaných koulí. Průměry těchto koulí se zvětšují směrem do nálitku (tím se vytváří potřebný trychtýř).



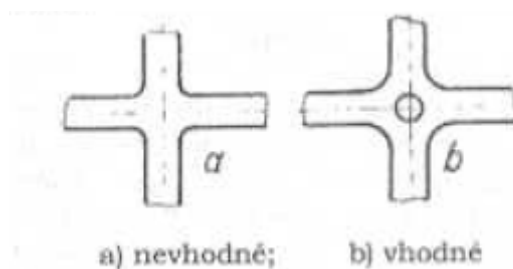
Obr. 11: Volba konstrukce válcové nádoby s pravoúhlou stěnou

Též připojení šikmého žebra ke stěně, viz **obr. 12**, nesmí způsobovat vznik tepelného uzlu. Připojení vpravo (b) je lepší, než vlevo, neboť nevznikají tak ostré hrany.



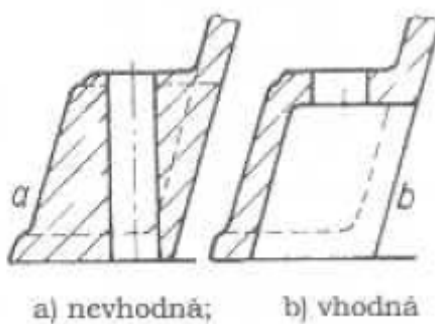
Obr. 12: Připojení šikmého žebra ke stěně odlitku

Pravoúhlé křížení žeber je nevhodné, viz **obr. 13**,. Pomůže odlehčení otvorem. I když je mnohem složitější formování a je nutné použití jádra.



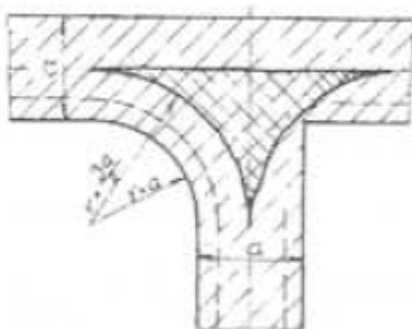
Obr. 13: Pravoúhlé křížení žeber

Na **obr. 14** je ukázka nevhodné a vhodné (vpravo) konstrukce patky pro upínací šroub. Nevhodná konstrukce spočívá ve velkém množství materiálu kolem díry pro šroub a tím možnost vzniku tepelného uzlu.



Obr. 14: Patka pro upínací šroub

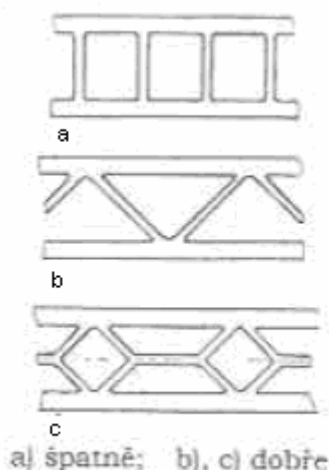
Na **obr. 15** je ukázka nutnosti zaoblení při pravoúhlém připojení žeber o tloušťce „a“ a jejich správné dimenzování. Ve střední partii je opačně šrafovaná oblast, kde probíhá nejpозdější tuhnutí odlitku. Současně je snaha, aby styk odlitku a formy byl příznivý pro odvod tepla z tuhnoucího odlitku. Tuto zásadu splňují poměrně velké radiusy. V případě bez zaoblení (pravá část obrázku) je konstrukce nevhodná, neboť ostré hrany odvádí špatně teplo z odlitku.



Obr. 15: Ukázka nutnosti zaoblení při napojování stěn a žeber odlitku

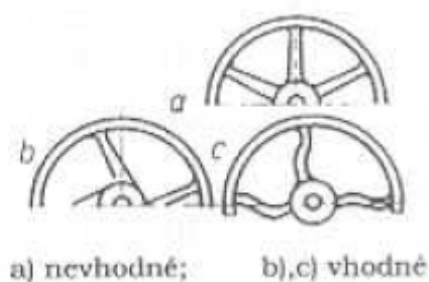
Také odlitky se žebry vyžadují správnou konstrukci, viz **obr. 16**. Žebrovaní rovnoběžných stěn, jako je např. u litinových loží, je velmi obtížné. Žebrované konstrukce jsou správné jen ty, které nevytváří příliš tuhou konstrukci a dovolují při smršťování určitou dilataci.

Velmi důležité je, aby žebra byla umístěna vždy na straně, kde je v materiálu tlakové napětí. Svislá žebra odlitků jsou nevhodná, zhoršují tuhost konstrukce. Vnější část konstrukce je obvykle masivnější než vnitřní žebra. Těsnější žebra jsou při tuhnutí namáhána tlakem a tlustší partie tahem. Odlitek s konstrukcí skloněných žebor velikost sil při tomto namáhání eliminuje a tato konstrukce se stává příznivější.



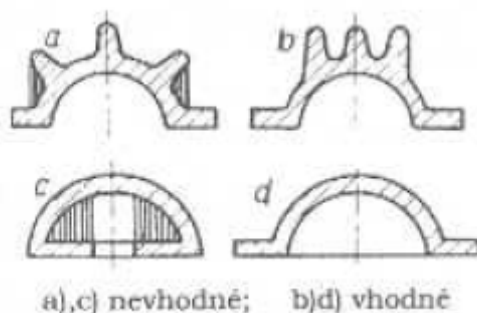
Obr. 16: Konstrukce žebor odlitku

Na **obr. 17** je ukázka spojení náboje a věnce kola pomocí výztuh. Vždy je nutnost lichého počtu výztuh a jejich tvarování v důsledku kompenzace vnitřních pnutí při smršťování (řešení b, c). Sudý počet – tj. protilehlé výztuhy se při tuhnutí silově „přetahují“, což obvykle vede k jejich prasknutí. Pootočením náboje proti věnci vede k vyrovnávání vnitřních pnutí.



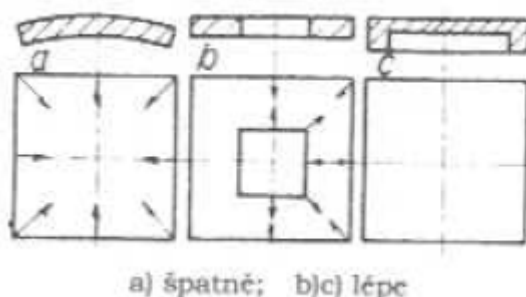
Obr. 17: Schéma spojení náboje a věnce litého kola

Na **obr. 18** je uvedeno situování vnějších žebér s ohledem na snadné zaformování odlitku. Řešení se provádí tzv. metodou vlastních stínů. Metoda se aplikuje tak, že se odlitek postaví na půdorysnu a osvítlí se shora (nebo zespodu) svazkem paprsků kolmých k půdorysně. Vržené stíny výstupků na těleso odlitku ukazují místa, kde by se musela při formování použít tzv. nepravá jádra. To za předpokladu, že by se model při formování vytahoval z formy ve směru paprsků. Proto je vhodné volit stejný směr žebér, viz **obr. 18b**, nebo jinou konstrukci odlitku (d).



Obr. 18: Řešení konstrukce odlitku metodou vlastních stínů

Ukázka správného navrhování litých desek je na **obr. 19**. Deskovité části odlitku by měly mít vyztužená žebra, která eliminují deformaci. Též je výhodné zesílení obvodu rámu desky, nebo vytvoření souměrného otvoru uvnitř desky. V důsledku nerovnoměrného smršťování dlouhých deskovitých odlitků vzniká vnitřní pnutí a dochází k pokřivení odlitku.



Obr. 19: Správné navrhování litých desek

Jednoduchý tvar desky na **obr. 19a** se často prohne po odlití v důsledku vnitřního pnutí. Zlepšení nastane v důsledku navržení vnitřního otvoru v desce, **obr. 19bc**, nebo zesílením obvodového rámu.

6. Návrh odlitku [8]

Návrh odlitku se bude týkat zadané součásti setrvačníku, který bude použit v automobilovém průmyslu. Výrobek se bude odlévat technologií lití do písku, která je popsána v kapitole 1.1, na konci odlévání bude podroben výstupní kontrole, pro zjištění vad.

6.1 Materiál odlitku

Součást se bude odlévat z litiny s kuličkovým grafitem zn. EN- GJS-400-15 dle ČSN EN 1563.

Při výrobě litiny se zajistí navážení dávek Cu pro legování tekutého kovu v pánvi 1000kg a odlévací pánvičce 10kg pro legování odděleně litých Y-bloků. Velikost dávky Cu se určuje dle chemického složení tekutého kovu.

Požadavky na chemické složení lze rozdělit na chemické složení po natavení v tavící peci Junker a chemické složení po modifikaci, očkování případně legování Cu, Mn tj. ve formě (odlitky). Chemické složení nataveného kovu jsou patrné z tabulky:

- po natavení

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr	%Mg	%Al
3,4-3,9	0,07-0,18	2,0-2,5	0,07	0,01-0,018	0,07	0,05	-	0,015

- po modifikaci

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr	%Mg	%Al
3,4-3,9	0,07-0,18	2,5-3,0	0,07	0,01-0,018	0,07	0,05	0,03-0,04	0,015

Nižší hodnoty chemického složení po modifikaci, očkování a legování k obsahům %C=3,4 a %Si=2,4 platí pro odlitky o tloušťkách 20-50mm. Vyšší hodnoty k obsahům %C= 3,9 a %Si=2,9 pro odlitky o tloušťkách 5-20mm.

Modifikace se provádí technologií In mould (ve formě) Modifikace tekutého kovu ve formě se provádí odzkoušenými modifikátory zn. Lamet, zn. VL7M a zn. FMS-La srovnatelného chemického složení a dávkování zajišťující modifikaci na kuličkový grafit dle ČSN EN 945.

Specifikace modifikátoru:

- Si 44-48%, Mg 5-6%, La 0,25-0,4%, Ca 0,4-0,6%, Al 0,8-1,2%
- zrnitost 1-4mm

Legování Cu

Legování tekutého kovu Cu se provádí k zajištění perlitické struktury odlitku

- 1) Pro legování se používá elektrovodná Cu s obsahem 99,9%Cu
- 2) 1kg Cu do pánve s 1000kg tek. kovu zvyšuje obsah Cu o 0,1% Cu
- 3) Velikost dávky Cu se řídí rozdílem obsahů Cu mezi tek. kovem a požadovaným obsahem

6.2 Formování

Formování směsi se bude provádět na formovací lince Wulfel Graue (WG), což je soubor technologických zařízení, které slouží ke zhotovení forem lisováním vyššími měrnými tlaky pro odlitky fitinků a strojních odlitků.

Modelové zařízení

- a) Základní MZ je v polovinách (1/2) formovacího rámu tj. 600 x 435 mm. Doplňující MZ je ve čtvrtkách (1/4) form. Rámu tj. 300 x 435 mm.
- b) MZ má samostatnou modelní desku obrobenou do přesných obvodových rozměrů. Střední polovin MZ /spodek, vršek/ je na přesně obrobené modelové desky do přesných lišt podmodelové desky pomocí stavěcích šroubů.
- c) Každé MZ má samostatnou vtokovou soustavu tzn., že jedna forma má dvě lící jamky /dva lící systémy/.
- d) MZ je kovové – pro malé série plastové.

Formování

Formování je prováděno na linkách WG do formovacího rámu 920x600x120/120

Parametry:

- a) lisovací tlak: 0,6 – 1,25 MPa nastavovat dle vyráběného sortimentu tvrdost forem
 - u kraje rám 80 – 90 n.j.t.
 - mezi odlit. 85 – 95 n.j.t.
- b) teplota MZ – max. 15 °C vyšší než teplota formovací směsi

Postřik MZ

- a) Při výměně MZ provést postřik ručním ovládáním. Při chodu linky postřik prováděn dle potřeby v taktu linky, nebo cyklovačem.
- b) Složení postřiku:
 - BISOL – separační olej

Kontrola forem

Množství formovací směsi – zalisování spodků forem. Zalisování nesmí být pod výškou formovacího rámu – kontroluje operátor.

Odlévání forem

Odlévání forem je prováděno odlévacím zařízením FOMET naklápěním vany, přes sifonový výtok a dvě hubičky. Odlévací zařízení je tvořeno vanou s induktorem umožňujícím udržování tekutého kovu mimo provoz linky, nebo přehříváním kovu.

Užitečný obsah odlévacího zařízení je 2,2 t kovu. Rozdíl ve váze odlévaného kovu v polovinách formy může být max. 20%. Funkce odlévacího zařízení není automatická, takže není spřažena s funkcí formovací linky. Ovládání odlévacího zařízení je z ovládací kabiny.

Vytřásací rošt

Na činnost vytřásacího roštu je vázána funkce linky, tzn., že linka nebude v činnosti, pokud nebude v činnosti rošt. Rošt je umístěn v podlaží 6,00 m pod stropem 12,00 m.

Vytlačené formy z formovací linky jsou pomocí překlápěcího zařízení spouštěny na vibrační rošt, kde se oddělí formovací směs od odlitků. Vytřásací pole je tvořeno děrovaným plechem a roštnicemi.

6.3 Tavení litiny

Na Slévárně P6 slouží k odlévání forem na třech automatických linkách WG odlévací zařízení „FOMET“. Mimo odlévání slouží také k vyrovnávání poklesu teplot tekutého kovu, homogenizaci a odstraňování strusky z tekutého kovu. Z uvedeného je zřejmé, že správná funkce odlévacího zařízení a způsob odlévání významně ovlivňuje kvalitu výroby odlitků.

Jedním ze základních požadavků pro výrobu kvalitních odlitků z litiny je udržování předepsané teploty a čistoty kovu a způsob odlévání na odlévacím zařízení „FOMET“.

Teplota tekutého kovu

Optimální teplota odlévaného kovu pro 90% výroby dle VPO je 1415 – 1445°C. Optimální teplota se dosahuje přepínáním výkonových stupňů odlévacího zařízení.

Výkonový stupeň č.	Funkce	Teplota °C pro 9t	Teplota °C pro 3t
0	chladicí	1500	1460
1	udržovací	1500	1500
2	přihřívací	1500	1530
3	přihřívací	1500	1550
4	přihřívací	1500	1580

Čistota tekutého kovu

Strusku je nutné stahovat minimálně 1x za směnu. Průběžně čistit nalévací otvor a lící hubičky. Před delšími přestávkami je nutné utěsnit všechny otvory odlévacího zařízení a nahodit na hladinu dřevěné uhlí, aby nedocházelo k oxidaci kovu. Struskové „límce“ na vaně odlévacího zařízení odstraňovat 1x za měsíc.

Odlévání tekutého kovu

Odlévat formy způsobem, který zajišťuje lití nepřetržitým proudem kovu do osy vtokového kůlu při stále zaplněné vtokové jamce.

Popis odlévacího zařízení

Indukční kanálkové odlévací zařízení „Fomet“ je zařízení se dvěma hubičkami s hydraulickým naklápěním kolem dvou os. Dále je opatřeno nalévacím otvorem, dvířky pro stahování strusky, ventilátorem pro chlazení indukční cívky a vodním chlazením induktoru. V úrovni odlévání je obslužná plošina a velín odlévacího zařízení, ze kterého obsluha řídí odlévání forem a opravuje ho. Odlévací zařízení je situováno ve středu formovací linky. V provozu jsou tři odlévací zařízení, u každé linky jedna a dvě jsou v opravě nebo připravena na výměnu.

Technická data odlévacího zařízení :

Celkový objem odlévacího zařízení	3 400 kg
Užitečný objem	2 500 kg
Jmenovitý příkon	200 kVA
Užitečný výkon zařízení	175 kW
Udržovací výkon	45 kW
Výkonový faktor $\cos \Phi$	
- při nové výdusce induktoru	v 0,98
- při opotřebovaném stavu	0,5 – 0,6
Pecní napětí – stupeň č. 1 – 4	220 V
5 – 8	380 V
Frekvence	50 Hz
Počet výkonových stupňů	8

Tavení se bude provádět na středofrekvenční indukční kelímkové peci Junker typ Ge 6000/5000 KW/250Hz.

Při dosažení meziteplot se stahuje struska, která prochází zkouškou chemického složení a měří se skutečná teplota ponorným pyrometrem. Můžeme provést i případné tzv. dolegování kovu přísadovými složkami. Po všech předepsaných parametrech tekutého kovu se provádí odpich pece (vylití pece) do lící pánve, nebo předpece.

Licí teplota je stanovena na $1430^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$, licí doba 10 – 12 sec. a doba chladnutí bude 0,75 hod.

6.4 Výstupní kontrola odlitku

Kontrola odlitku se bude provádět na třídně. Zkouška může být provedena nedestruktivně (ultrazvukem), nebo destruktivně (zkouška tahem). Tyč tvárné litiny má při zkoušce tahem parametry dle ČSN EN 1563:

Pevnost R_m	min. 400 N/mm ²
Mez _{0,2} Rp _{0,2}	min. 250 N/mm ²
Tažnost A min.	15%

Při nedestruktivní zkoušce ultrazvukem je rychlost šíření ultrazvukových (UZ) vln v litém materiálu přímo závislá na tvaru a množství vyloučeného grafitu. U litiny s lupínkovým grafitem je rychlost vždy nižší než u litiny s grafitem kuličkovým.

Tabulka kritických hodnot rychlosti zvuku v_L pro jednotlivé mezní strukturní stavy na obroušeném povrchu						
	G _{VI} % (v+v _I)	G _{III} červíkový	C % cementit	Fe % matrice	v_L v m/s	v_L m/sec neshodného výrobku při kontrolě prof.695
ideální	100	0	0	-	5687	-
neobrobitelný	100	0	25	30	5740	5740 max
vyhovující odlitku LKG	70	30	0	-	5564 min	5585 min
LCG	0	100	0	-	5290	-
LLG	G _I	0	0	-	přibl. 4355	-

7. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo rozebrat stávající technologie slévání, přičemž jsem se zaměřil hlavně na technologie, které se budou využívat při výrobě zadané součásti. Popisuji zde i technologie, které se mi zdály být nějakým způsobem zajímavé. Dále je zde zmínka o základních konstrukčních pravidlech při navrhování odlitků, co je vhodné a co ne. V části vlastní práce se zabývám výrobou odlitku součásti, kterou jsem obdržel v MŽ Olomouc.

Výkresy součásti jsou v příloze pod názvem „1 XJUD“. Při navrhování odlitku a postupového výkresu (příloha 2 XJUD a 3 XJUD) jsem přídatky a vhodně zvolenou dělicí rovinu řešil s jejich technologem, který mi vysvětlil technologii slévání, kterou zde používají (lití do pískových forem) a konzultovali jsme i materiál odlitku, což je tvárná litina s kuličkovým grafitem značena EN- GJS-400-15 dle ČSN EN1563.

8. Seznam použité literatury

- [1] PÍŠEK, F., PLEŠINGER, A. a kol. Slévárenství I. Obecná část. Praha: SNTL, 1974.
- [2] PÍŠEK, F., PLEŠINGER, A. a kol. Slévárenství II. Speciální část. Praha: SNTL, 1975.
- [3] VETIŠKA, A. a kol. Teoretické základy slévárenské technologie. Praha: SNTL, 1974.
- [4] VETIŠKA, A. Výroba a konstrukce odlitku v otázkách a odpovědích. Praha: SNTL, 1981.
- [5] DOUBRAVSKÝ, M. aj. Technologie slévání, tváření a svařování. Brno: VUT v Brně, 1985, 246 s.
- [6] BERNÁŠEK, V., HOŘEJŠ, J. Technologie slévání. Plzeň 2006, ISBN 80-7043-491-0
- [7] NOVÁ, I. a kol. Technologie I. Slévání a svařování. Liberec 2006, ISBN 80-7372-052-3
- [8] Vnitropodniková dokumentace firmy MŽ Olomouc

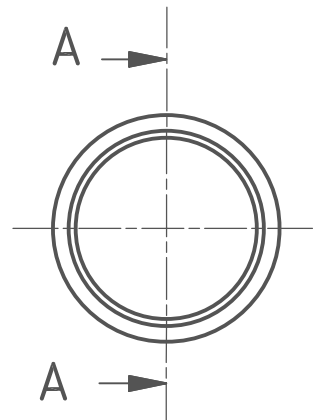
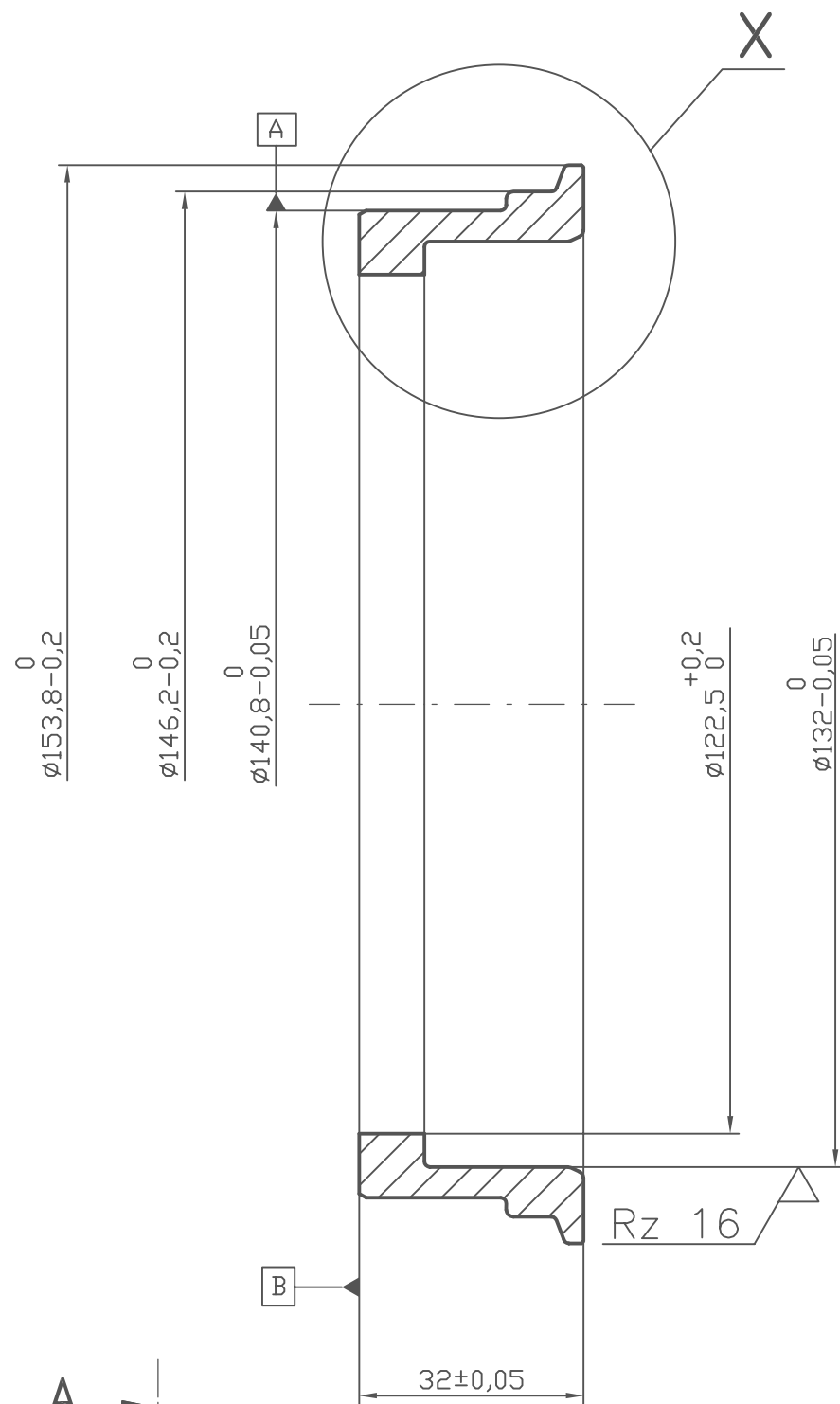
Seznam příloh:

Příloha 1- výkres součásti č.v. 1 XJUD

Příloha 2- výkres odlitku č.v. 2 XJUD

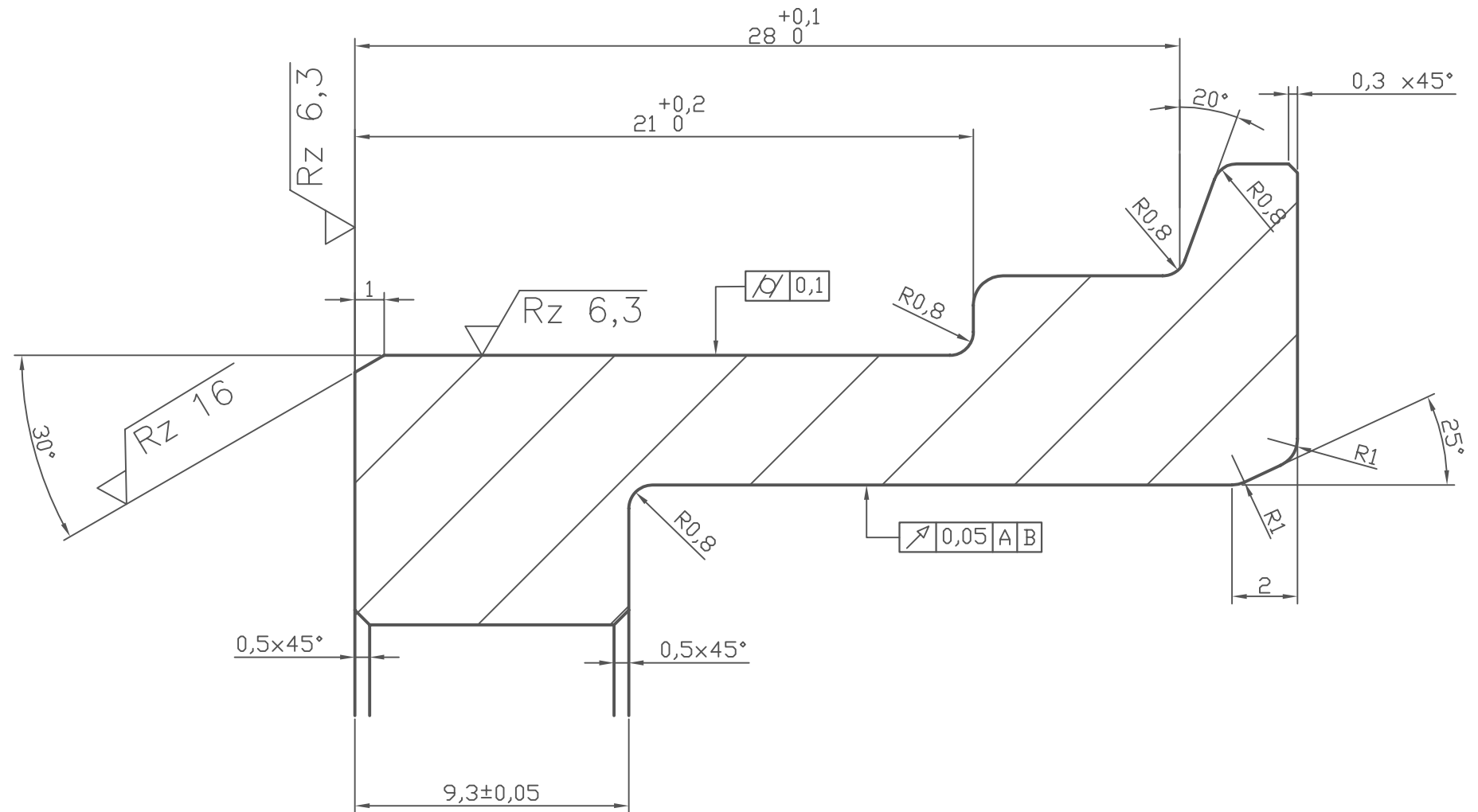
Příloha 3- postupový výkres odlitku č.v. 3 XJUD

ŘEZ A-A (1 : 1)

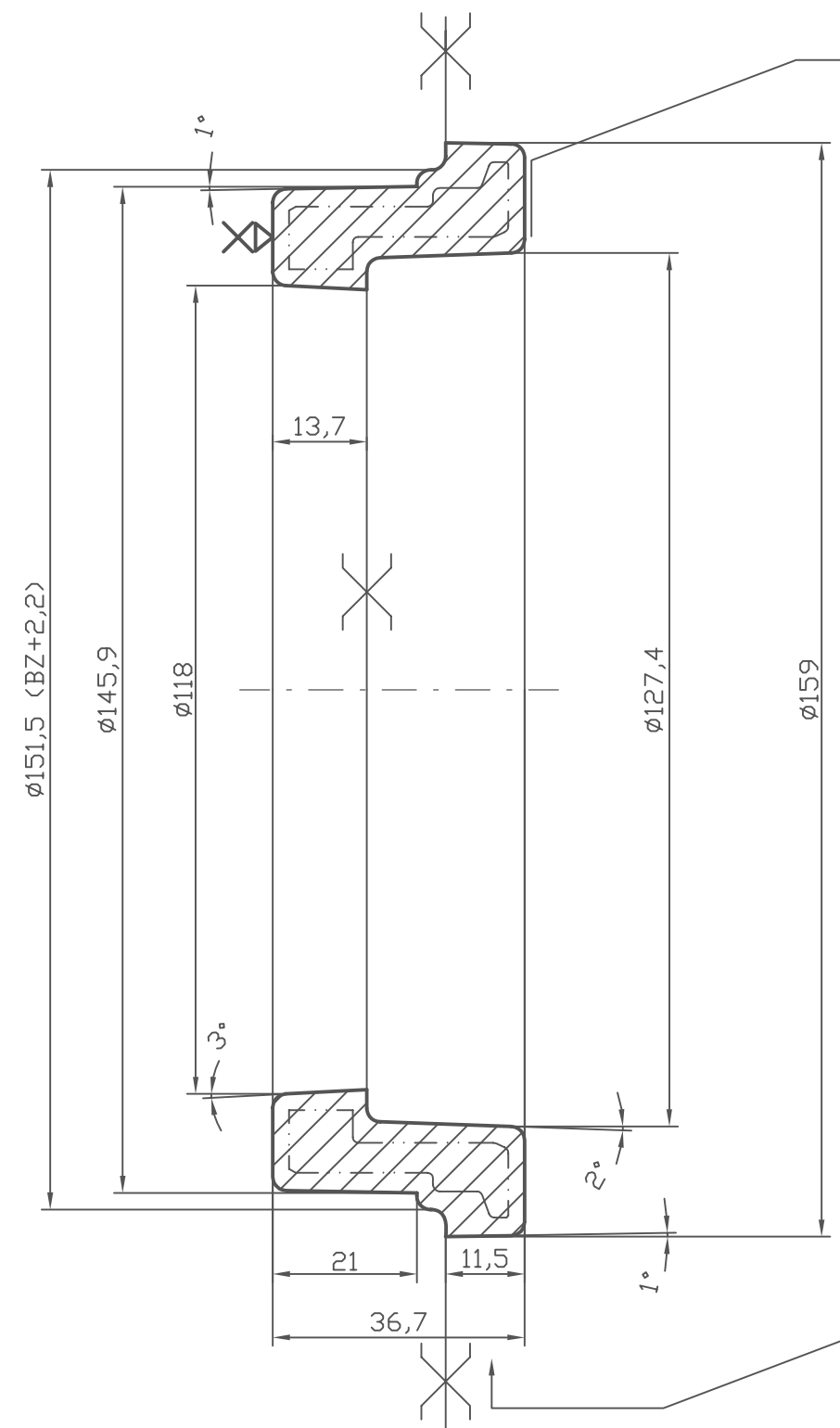


M 1:5

DETAIL X (5 : 1)

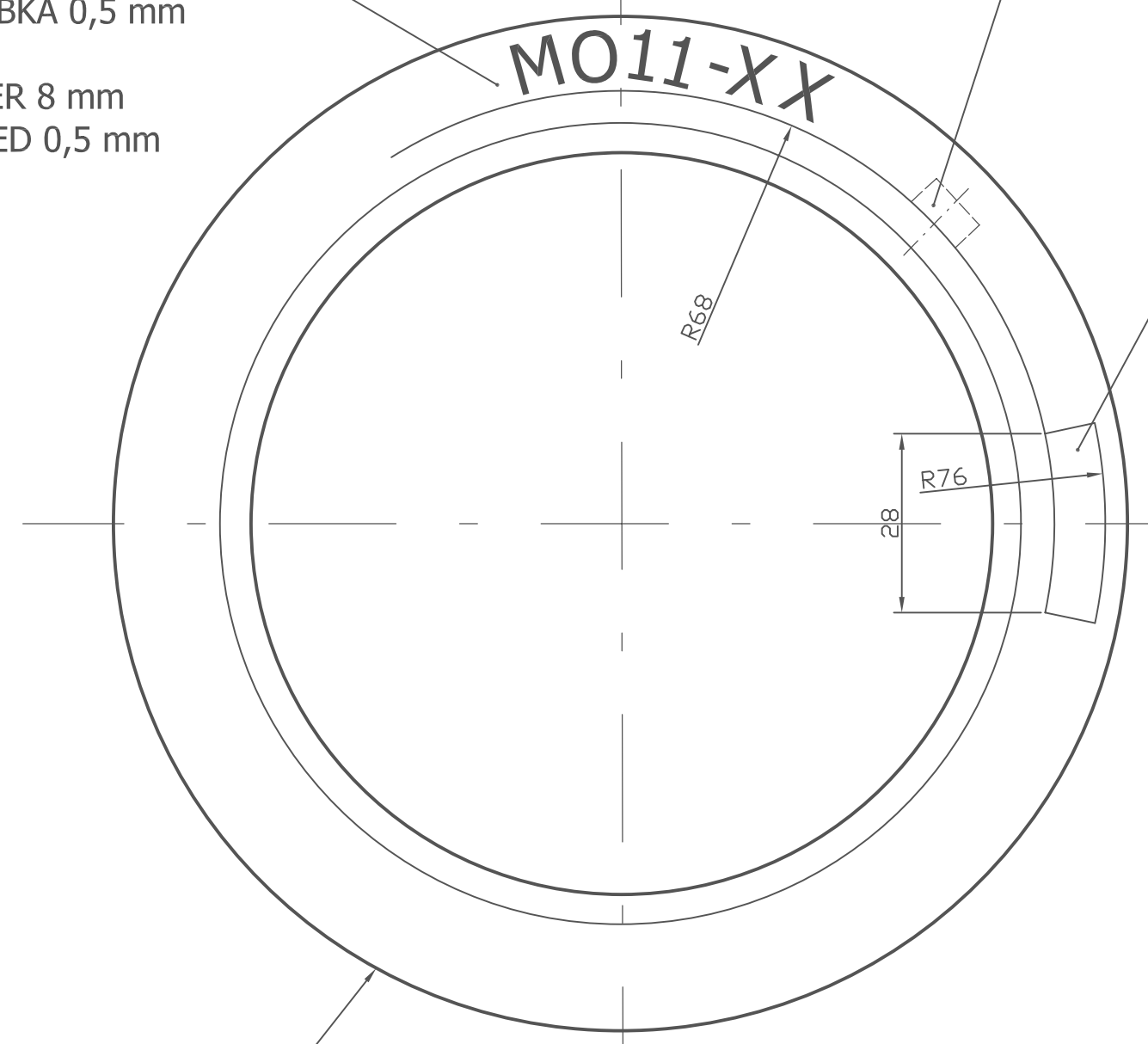

$$\sqrt{\text{Rz } 25} \quad \left(\sqrt{\text{Rz } 16} \quad \sqrt{\text{Rz } 6,3} \right)$$

Poř. k.	Název	Polotovár	Mat. konečný	Mat. výchozí	T. D.	Č. hmot	H. hmot	Číslo výkresu	Pos																							
Poznámka					Výkres sestavy																											
Měřítko 1:1	Netolerované rozměry dle: ISO 2768 mK			Změna	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																											
Materiál ČSN EN 1563 - EN GJS 400 - 15																																
Vypracoval	JUDAS	Projektant																														
Přezkoušel		Norm.ref.																														
Výr.projedn.		Schválil																														
		Dne	17.4.2009																													
Celková čistá hmotnost pro provedení			Typ	Nahrazuje					Nahrazen																							
			Skupina																													
		Název SCHWUNGRING							AutoCAD																							
		Číslo výkresu 1 XJUD						Listů	List																							



MO 101-110
PÍSMO 8 mm
HLOUBKA 0,5 mm

LETTER 8 mm
DEEPED 0,5 mm



LEPIT:
TÝDEN - ROK, NAPŘ 0807
VÝŠKA PÍSMO 7 mm
ZAPUŠTĚNO 0,3x28x8

MARKING:
WEEK - YEAR (0807)
TYPE SIZE - 7 mm
DEEPED 0,3x28x8 mm

✕ 100 % KONTROLA STRUKTURY DMV DL
✕ 100 % TEST STRUKTURE DMV DL
▽ MÍSTO PRO MĚŘENÍ TVRDOSTI 90° OD VTOKU
▽ AREA FOR HARDNESS MEASURING 90° FROM GATE
NETOLEROVANÉ ROZMĚRY DLE DIN ISO 8062 - CT9
TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE
SPECIFED DIN ISO 8062 - CT9
ATEST ČSN EN 10204 3.1
CERTIFICATE ČSN EN 10204 3.1

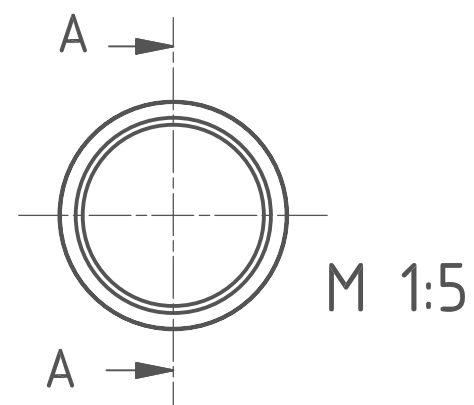
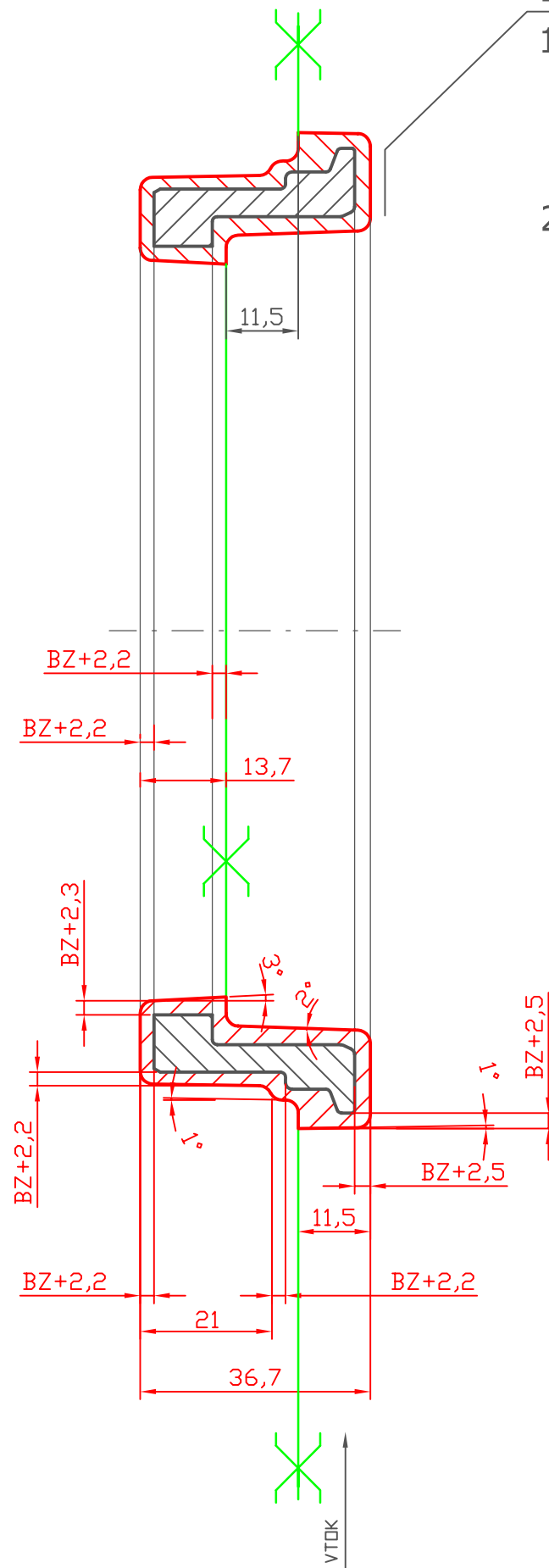
NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R2

Poč. k.	Název	Polotovar	Mat. konečný	Mat. výchozí	T. D.	Č. hmot	H. hmot	Číslo výkresu	Pos	
Poznámka					Výkres sestavy					
Měřítko	Netolerované rozměry dle:			Změna			Datum	Podpis	Index změny	
1:1	Materiál ČSN EN 1563 - EN GJS 400 - 15									
Vypracoval	JUDAS		Projektant							
Přezkoušel			Norm.ref.							
Výr.projedn.			Schválil							17.4.2009
			Dne							
Celková čistá hmotnost pro provedení			Typ	Nahrazuje		Nahrazen				
			Skupina							
			Název	ODLITEK						AutoCAD
			Číslo výkresu	2 XJUD					Listů	List

ŘEZ A-A (1 : 1)

ZNAČIT:

- 1) ZNAČIT MO 01
PÍSMO 8mm
HLOUBKA 0,5 mm
- 2) 28x8x0,3
LEPIT TÝDEN-ROK



PŘÍDAVEK = BZ +2,2 - 2,5 mm
NEKÓTOVANÉ RADIUSY R2

SLÉVÁRENSKÝ POSTUPOVÝ VÝKRES PRO OBROBEK Č.V. 2118

ODLITEK BUDE PROVEDEN S PŘESNOSTÍ - DIN ISO 8062 CT 9

Poč. k.	Název	Polotovar		Mat. konečný	Mat. výchozí	T. D.	Č. hmot	H. hmot	Číslo výkresu	Pos
Poznámka					Výkres sestavy					
Měřítko	Netolerované rozměry dle:				Změna		Datum	Podpis	Index	Změny
1:1	Materiál ČSN EN 1563 - EN GJS 400 - 15									
Vypracoval	JUDAS		Projektant							
Přezkoušel			Norm.ref.							
Výr.projedn.			Schválil							
			Dne	17.4.2009						
Celková čistá hmotnost pro provedení			Typ			Nahrazuje	Nahrazen			
			Skupina							
			Název	POSTUP. V.						AutoCAD
			Číslo výkresu	3 XJUD					Listů	List

SLÉVÁRENSKÝ POSTUP

Počet modelů		6 dělené
Materiál modelu		11 600
Srnštění		1%
Provedení		ČSN EN 12890 modely M1
Úkoly dle ČSN 042021		
Montáž ploten	dřeva	
	kovu	6008
Počet	Jaderníků	
	Jader	
	volných částí	
	nálitků	4
	vtoků	1
	zarážek	
	kolíků	
	pasů	
	rozklepač	